#01 – novembre 2025

BRGM mag

L'actualité du service géologique national

Le sous-sol, une clé pour l'avenir des territoires

L'ACTU DE LA RECHERCHE
Un nouvel inventaire pour mieux connaître les ressources minérales de la France

L'INTERVIEW
Le BRGM face aux crises cycloniques à Mayotte et à la Réunion

DÉCRYPTAGE
L'enjeu scientifique des PFAS, des polluants « éternels »



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté Égalité Fraternité



Géosciences pour une Terre durable
brgm

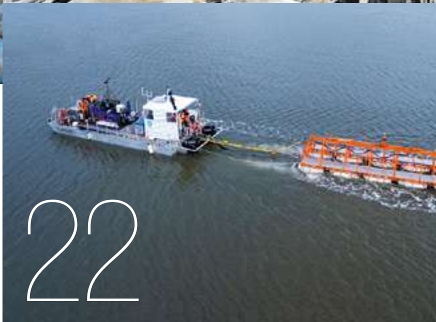
BRGM mag #01











BRGM mag #01

Publication du BRGM, service géologique national
3 avenue Claude-Guillemin – BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2
Tél. : 02 38 64 37 84 – www.brgm.fr
Directeur de la publication et rédacteur en chef **Pierre Vassal**
Coordination **Marilyn Deret** Rédaction **Marilyn Deret, Morgane Gillard**
Les contenus de ce magazine relèvent de la seule responsabilité du BRGM et n'engagent en aucune manière les financeurs et partenaires des projets évoqués.

—

Réalisation **EFIL** - www.efil.fr

—

Numéro 01 – Novembre 2025 – Dépôt légal à parution
ISSN : en cours d'attribution – ISBN : 978-2-7159-8537-7

Un « BRGM mag » pour explorer le rôle du sous-sol

06 **L'ACTU DE LA RECHERCHE**
Un nouvel inventaire pour mieux connaître les ressources minérales de la France

08 DOSSIER / **LE SOUS-SOL, UNE CLÉ POUR L'AVENIR DES TERRITOIRES**
Les solutions développées par le BRGM pour favoriser des villes et des territoires durables, dans un contexte de changement climatique

18 **L'INTERVIEW**
«À Mayotte et à la Réunion, nous aidons les autorités locales à prévenir les effets d'un cyclone sur l'île»

20 **DÉCRYPTAGE**
Que sont les PFAS, ces polluants «éternels» ?

22 **SUR LE TERRAIN**
Les campagnes Géoscan pour la géothermie profonde en Île-de-France et sur le bassin de l'Arc

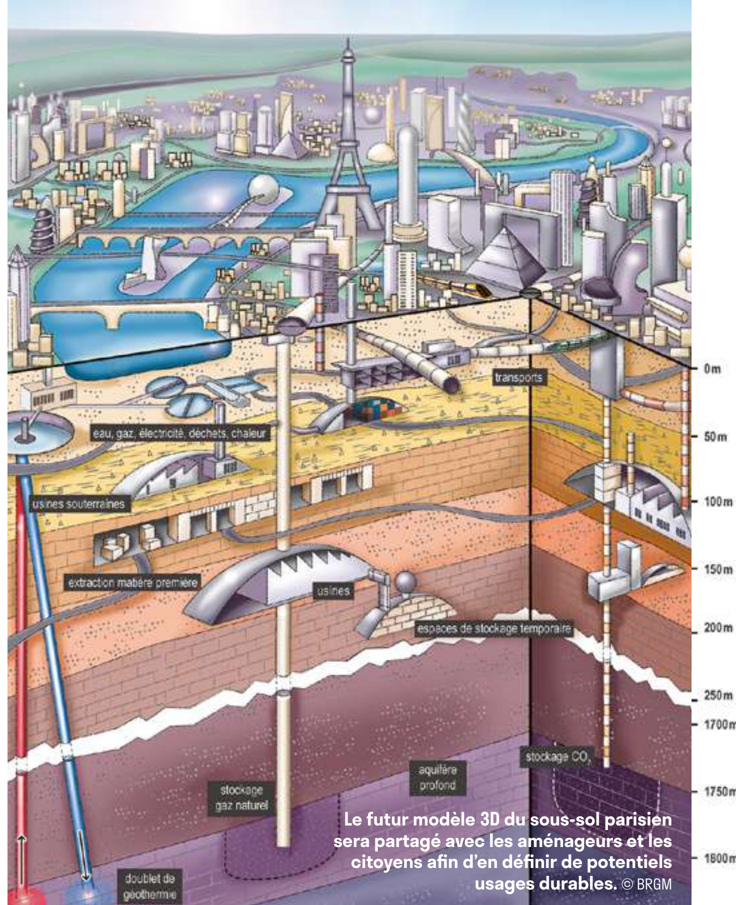
Occupant une place de plus en plus centrale dans les enjeux environnementaux, économiques et sociétaux, le sol et le sous-sol sont, par nature, le socle de notre souveraineté. Les ressources naturelles qu'ils contiennent sont nécessaires, voire indispensables à notre développement. Et les aléas climatiques accroissent les risques liés à l'espace souterrain, face auxquels il est impératif de s'organiser.
Le BRGM a un rôle central à jouer dans tous ces domaines, pour soutenir la transition écologique et la résilience des territoires. Service géologique national, sa contribution est fondamentale et multiple.
Nos travaux scientifiques améliorent la connaissance du sous-sol et la compréhension des phénomènes associés. Nos missions d'appui aux politiques publiques fournissent une expertise indépendante et une aide à la décision. Nos interventions dans des événements scientifiques ou professionnels, en France comme à l'international, éclairent les enjeux et alimentent les débats.
La médiation scientifique et le dialogue avec la société sont tout aussi importants : ils favorisent l'acceptation des projets répondant aux enjeux de durabilité et de souveraineté.
C'est également l'ambition de ce nouveau magazine : donner les clés pour comprendre les défis actuels et futurs et faire découvrir les solutions que le sous-sol peut apporter. Car sous nos pieds se joue une partie essentielle de notre avenir…

Bonne lecture !



CATHERINE LAGNEAU
Présidente-Directrice générale du BRGM

en bref !



Le futur modèle 3D du sous-sol parisien sera partagé avec les aménageurs et les citoyens afin d'en définir de potentiels usages durables. © BRGM

GRAND PARIS

Comment utiliser le sous-sol ?

Le projet S-PASS, coordonné par le BRGM dans le cadre du programme national de recherche (PEPR) « Sous-sol, bien commun », vise à **modéliser l'espace souterrain (jusqu'à 200 mètres) de la métropole du Grand Paris** afin d'en améliorer la connaissance et d'en évaluer les ressources et usages potentiels. Des données nombreuses et d'une grande diversité sont actuellement collectées à cette fin, des plus anciennes, telles les archives de la RATP, aux plus récentes, comme celles liées à la réalisation du métro Grand Paris Express grâce à une convention avec la Société des Grands Projets (SGP).

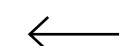
SERVICES NUMÉRIQUES

Le BRGM chef de file de la donnée géologique et environnementale

Le BRGM conçoit et gère, pour le compte de l'État, un grand nombre de systèmes d'information comme Hub'Eau et ADES (eau), GéoRisques et GIDAF (risques), MinéralInfo (ressources minérales), TéléGMI (géothermie) ou encore TrackDéchets (déchets).
Pour ce faire, l'établissement compile des données – validées et pérennes – et les met à disposition, via des plateformes, sous la forme de bouquets de services thématiques et cohérents. Ceux-ci constituent **de précieux outils d'aide à la décision pour les pouvoirs publics, les professionnels et les particuliers**.

PLUS D'INFOS SUR BRGM.FR





La plateforme Plat'Inn permet de tester le traitement des ressources minérales ainsi que le recyclage des déchets susceptibles de devenir source de matières premières.
© BRGM - Didier Depoorter

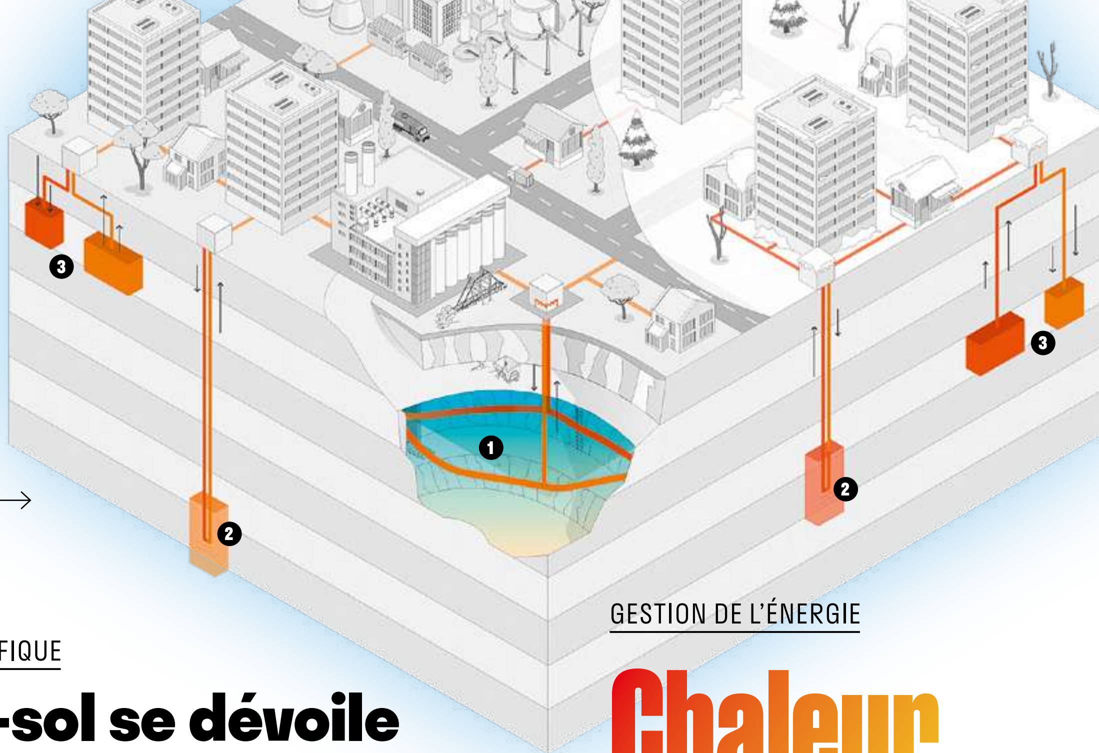
PLATEFORMES TECHNOLOGIQUES

Des essais grandeur nature

Sur son site d'Orléans, le BRGM dispose de plusieurs plateformes pour poursuivre, après les étapes en laboratoire, les projets de recherche sur de gros volumes et en conditions contrôlées. **La halle Plat'inn** est ainsi dédiée à l'exploitation des ressources minérales primaires et secondaires, tandis que **la plateforme Prime** est utilisée pour la dépollution des sols et des eaux contaminés.

DÉCOUVREZ PLAT'INN EN VIDÉO

EXPLOREZ PRIME EN VISITE VIRTUELLE



Les trois technologies de stockage de chaleur testées dans le cadre du projet PUSH-IT (dans les mines - 1, dans les sondes - 2, dans les aquifères - 3) sont adaptées à la plupart des contextes géologiques en Europe. © PUSH-IT

MÉDIATION SCIENTIFIQUE

Le sous-sol se dévoile dans les médias

Le BRGM s'affiche de plus en plus dans les médias et sur les réseaux sociaux pour informer le grand public sur les ressources naturelles et leur gestion. **Depuis cet été, France Télévisions propose toutes les semaines, dans le Journal *Météo Climat*, la « Météo de l'eau »**. Cette nouvelle rubrique, réalisée en partenariat avec le BRGM à partir du bulletin bimensuel de la situation des nappes produit par l'établissement, fait le point sur l'eau en France : état des réserves, humidité des sols, qualité des eaux souterraines… Elle permet également d'expliquer les enjeux liés à cette ressource face au changement climatique et aux différents usages de l'eau.
En mai, le BRGM a lancé avec France Inter une série de podcasts jeunesse : *Les aventures du professeur Caillou* font découvrir le rôle essentiel des métaux dans notre vie quotidienne, leur origine géologique ainsi que les enjeux liés à leur extraction et leur recyclage, à travers les personnages de Pierrette Caillou et de son collègue Abel, tous deux géologues au BRGM. Déjà plus de 300 000 auditeurs !
Depuis mai également, l'établissement diffuse sur son compte Instagram la mini-série *Amène ton caillou* : dans chaque épisode, un géologue du BRGM fait découvrir une roche ainsi que son métier. Le nombre de *likes* (en moyenne 300 par vidéo !) témoigne de l'intérêt du public pour le sous-sol.



Or, lithium, cuivre, silicium… toute une série de métaux sont présentés dans le podcast *Les aventures du professeur Caillou*, destiné aux 7-11 ans… et plus ! © BRGM

GESTION DE L'ÉNERGIE

Chaleur en stock

Face au grand écart saisonnier entre la demande et la production de chaleur issue de sources durables, une solution pourrait être de **stocker dans le sous-sol de grandes quantités de chaleur à haute température (jusqu'à 90°C), afin de pouvoir les réutiliser dès que de besoin**. C'est l'objet du projet européen PUSH-IT, auquel participe le BRGM. Celui-ci vise à évaluer, grâce à six sites pilotes aux Pays-Bas, en Allemagne, en Tchéquie et au Royaume-Uni, la faisabilité technique, le gain économique, l'impact environnemental et l'acceptabilité sociale de trois technologies de stockage et de récupération d'énergie thermique, utilisant respectivement les mines, les sondes et les aquifères.

PUSH-IT-THERMALSTORAGE.EU



1

APPROVISIONNEMENT

UN NOUVEL INVENTAIRE POUR MIEUX CONNAÎTRE LES RESSOURCES MINÉRALES DE LA FRANCE

Le BRGM est en charge d'actualiser l'inventaire stratégique des ressources minérales du sous-sol français. Répondant à un enjeu de souveraineté nationale et européenne, cette mission de cinq ans consiste à investiguer des territoires susceptibles d'abriter des matières premières minérales d'intérêt. Elle vise à contribuer à la sécurisation des approvisionnements en substances critiques et stratégiques, afin de renforcer la résilience de l'économie et soutenir la réindustrialisation.

Réussir les transitions énergétique et numérique implique de développer des technologies très consommatrices de ressources minérales (lithium, cobalt, nickel, cuivre, terres rares…). Cette perspective s'accompagne d'une réflexion sur la sécurisation de nos approvisionnements, dont les conclusions conjuguent le développement du recyclage des déchets contenant des substances minérales et l'exploration des ressources de notre sous-sol, en plus d'efforts de sobriété.

Reconnu pour son savoir-faire historique en la matière – l'établissement a réalisé le premier inventaire minier de la France entre 1970 et 1995 –, le BRGM a été missionné par l'État en 2024 pour actualiser l'état des lieux des ressources minérales du sous-sol français. Il s'agit d'identifier les secteurs susceptibles de contenir des substances d'intérêt, dans le but de réduire notre dépendance aux importations.

L'appui de BRGM Explore

Le travail se concentre sur cinq zones dans l'Hexagone et en Guyane, définies comme prioritaires pour leur potentiel de découvertes. Il consiste tout d'abord à mener, sur terre et dans les airs, de vastes campagnes d'acquisition de données géophysiques et géochimiques de surface. Le BRGM s'appuie sur sa filiale BRGM Explore





(1) La collecte de données est effectuée, entre autres, au moyen de levés aéroportés, comme ici dans le Massif central. © Alexandre Magnan
(2) BRGM Explore appuie l'actualisation de l'inventaire des ressources minérales par des campagnes de prélèvements de sédiments de ruisseau, comme ici à Magnac-Laval, en Haute-Vienne. © BRGM Explore

et sur des entreprises spécialisées pour la mise en œuvre des opérations de terrain, comme les levés de géophysique aéroportés et les campagnes géochimiques associant prélèvements de sédiments et analyses multi-élémentaires en laboratoire. *« Nous avons optimisé cette phase en utilisant les toutes dernières techniques d'exploration minérale et en valorisant les échantillons conservés de l'ancien inventaire minier »*, souligne Blandine Gourcerol, responsable de ce projet au BRGM.

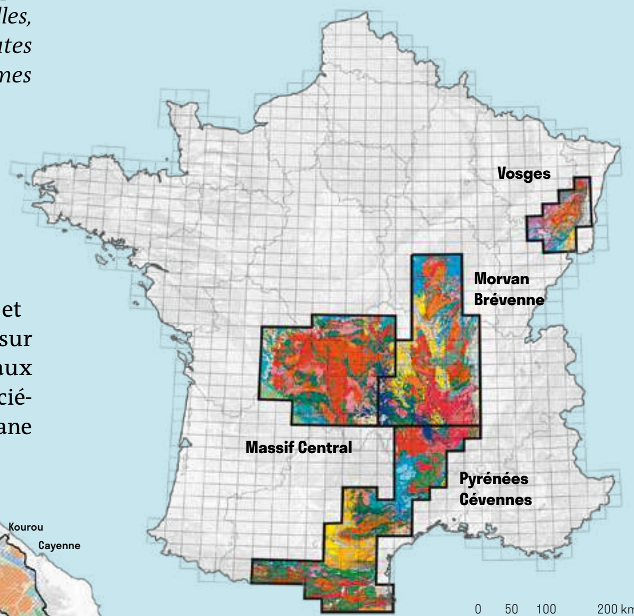
Vient ensuite l'interprétation des données. En plus de son expertise, l'établissement a lancé un appel aux entreprises innovantes en vue de mobiliser d'autres technologies, notamment l'intelligence artificielle. *« L'objectif est de parvenir, sur la base des occurrences minérales que nous avons identifiées et grâce à des solutions nouvelles, à une interprétation systématique, identique sur toutes les zones couvertes et, si possible, plus poussée en termes quantitatif et qualitatif »*, avance Blandine Gourcerol.

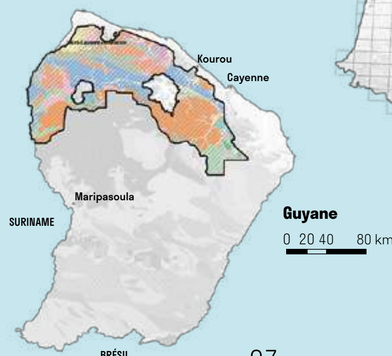
55

substances minérales
sont aujourd'hui considérées comme critiques et stratégiques. Elles sont prises en compte dans l'inventaire en cours, contre 22 seulement dans l'inventaire minier précédent.

Des cartes des occurrences minérales

Les résultats seront communiqués sous la forme de cartes des occurrences indiquant de potentiels gisements, au fur et à mesure de l'achèvement des chantiers : d'abord les Vosges, puis le Massif central, le Morvan-Brévenne, les Pyrénées-Cévennes et le nord-est de la Guyane. L'accent est mis en outre sur la médiation scientifique, pour faire comprendre aux niveaux national et local les enjeux économiques et sociétaux du projet ainsi que ses aspects techniques. En Guyane enfin, l'actualisation de l'inventaire des ressources minérales devrait donner lieu à la création d'une formation certifiante pour le travail d'exploration en milieu tropical. ●





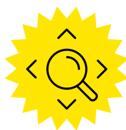
Cinq zones de l'Hexagone et de Guyane sont investiguées pour l'actualisation de l'inventaire national des ressources minérales. © BRGM

Dossier

Le sous-sol, une clé pour l'avenir des territoires

par Philippe Freyssinet

Longtemps cantonné au domaine technique, le sous-sol s'invite de plus en plus dans les débats publics. Qu'il s'agisse de ressources minérales, d'eau, d'énergie ou encore de stockage de carbone, il cristallise des tensions… mais ouvre aussi des perspectives. Invisible et souvent méconnu, il s'impose en effet comme un élément stratégique au moment où la transition énergétique et l'adaptation au changement climatique deviennent prioritaires. Le BRGM, service géologique national, contribue, par ses recherches scientifiques et son appui aux politiques publiques, à cette réflexion collective fondamentale : que voulons-nous faire de notre sous-sol ?



Sous nos pieds, des enjeux politiques et économiques majeurs

Ouvrir une mine de lithium, répartir une ressource en eau sous tension, utiliser la géothermie pour des réseaux de chaleur urbains, stocker du CO_2 en profondeur, aménager un territoire en fonction de risques naturels… : les problématiques liées au sous-sol requièrent des choix collectifs, aux impacts économiques, environnementaux et parfois sociaux. Le sous-sol devient ainsi progressivement une question citoyenne et politique, sur laquelle le BRGM apporte une expertise scientifique indépendante, appuyée sur une recherche au meilleur niveau. Il s'agit de partager nos connaissances avec les utilisateurs des données du sous-sol mais aussi, de plus en plus, de rendre compréhensible pour le grand public ce qui se joue sous nos pieds. Car de la souveraineté minérale à la résilience climatique, le sous-sol conditionne une partie de notre avenir.



PHILIPPE FREYSSINET
Directeur scientifique du BRGM



Surveillance par drone des falaises de la route de la Corniche à Urrugne (Pyrénées-Atlantiques).
© Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine - Com' by AVM

« L'adaptation au changement climatique passera aussi par une meilleure connaissance des processus complexes impliquant le sous-sol »

La dépendance de l'Union européenne à l'égard de pays tiers pour ses besoins en métaux stratégiques fragilise sa transition énergétique. Les ressources minérales comme le lithium, le cobalt et le nickel, essentiels à la fabrication des batteries et des technologies bas carbone, constituent désormais un enjeu de souveraineté au cœur des discours politiques, des débats industriels et des négociations internationales. Derrière les chiffres, une question sensible : faut-il accepter l'ouverture de nouvelles mines sur le territoire européen pour garantir notre autonomie ?

Arbitrer entre usages

L'eau souterraine concentre tout autant d'inquiétudes. Ces ressources subissent en effet de plein fouet l'impact du changement climatique : sécheresses répétées, pollutions persistantes (PFAS), pressions agricoles et industrielles. Les prélèvements dans les nappes peuvent devenir source de tensions entre acteurs économiques, collectivités et citoyens. Dans ce contexte, le BRGM déploie ses outils de modélisation pour anticiper l'évolution des ressources et orienter les politiques de gestion. Préserver l'eau souterraine revient désormais à arbitrer entre usages, au prix de choix politiques parfois délicats.

Le réchauffement climatique accroît également les risques liés au sol et au sous-sol : retrait-gonflement des argiles, glissements de terrain, éboulements en montagne ou affaissements fragilisent les infrastructures et les habitations. Plus fréquents et plus importants, ces phénomènes, longtemps considérés comme marginaux, concernent aujourd'hui une large part du





territoire. Leur étude est essentielle pour un aménagement plus durable. En 2024 par exemple, le BRGM a réalisé la première carte européenne de la subsidence côtière, permettant d'anticiper les affaissements liés à la montée du niveau marin. Ces travaux soulignent une tendance lourde : l'adaptation au changement climatique passera aussi par une meilleure connaissance des processus complexes impliquant le sous-sol.

70 à 90 %

des besoins de l'Union européenne en un grand nombre **de métaux critiques sont importés**[1].

62 %

de l'eau potable en France provient des **eaux souterraines**[2].

(1) Source : Raw Materials Scoreboard, Commission européenne, JRC
(2) Source : Centre d'information sur l'eau (C.I.eau)

De futures solutions énergétiques

Les ressources souterraines recèlent également des solutions pour la transition énergétique. La géothermie, déjà exploitée en Île-de-France et outre-mer, pourrait fournir une énergie renouvelable locale en réponse aux besoins de chauffage urbain. Le stockage géologique de CO_2, encore en phase de développement, s'annonce comme un outil complémentaire pour atteindre la neutralité carbone. Le déploiement de ces deux leviers suppose toutefois d'obtenir l'adhésion des territoires et des populations concernés, un facteur clé de la réussite de tels projets. D'autres pistes à l'état de recherches, comme l'hydrogène naturel, pourraient également déboucher sur de futures solutions énergétiques.

Acquérir, traiter et diffuser l'information géologique constitue la colonne vertébrale d'un service géologique. Les technologies numériques jouent un rôle essentiel pour s'adresser de façon adaptée à différents publics comme la communauté scientifique, les administrations, les collectivités et *in fine* le grand public, qui exige une transparence de l'information, en particulier sur la qualité de son environnement. L'intelligence artificielle, l'imagerie satellitaire et les plateformes de données massives permettent désormais de cartographier et de modéliser le sous-sol avec une précision inédite. Les avancées dans le domaine du numérique contribuent ainsi à améliorer la connaissance scientifique et à renforcer la capacité de prédiction des géosciences, dans l'objectif – et c'est la mission du BRGM – de mieux éclairer les décisions politiques et mieux informer la société sur le sous-sol et les nombreux enjeux qui lui sont liés. ●



ALLER PLUS LOIN. Le BRGM a révisé sa stratégie scientifique, qui fixe ses orientations à dix ans. La version actualisée améliore l'articulation entre la recherche, l'appui aux politiques publiques, l'innovation et se décline en six programmes scientifiques : Connaître et modéliser la géologie des territoires ; Transformer les géosciences par le numérique ; Préserver la ressource en eau souterraine ; Maîtriser les risques du sol et du sous-sol ; Permettre un approvisionnement responsable en ressources minérales ; Utiliser le sous-sol pour la transition énergétique et la décarbonation.

CONSULTEZ LA STRATÉGIE SCIENTIFIQUE DU BRGM
ÉDITION 2024





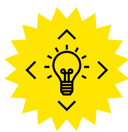
« L’adhésion des territoires et des populations concernés est un facteur clé de la réussite des projets impliquant le sous-sol »







(1) Le BRGM enregistre le niveau des nappes phréatiques au moyen du réseau national piézométrique, comme ici en Pays de la Loire. Ce suivi alimente le site MétéEAU Nappes qui permet, en cliquant à l’emplacement d’un piézomètre, d’afficher le niveau de la nappe en temps réel ainsi que ses dernières valeurs. © BRGM
(2) Coordonné par le BRGM, l’Observatoire français des ressources minérales pour les filières industrielles (Ofremi), expert en intelligence minérale, éclaire les pouvoirs publics sur les matières critiques, comme le cuivre. © Adobe Stock
(3) Le BRGM développe des solutions fondées sur la nature (SFN) pour prévenir la survenue de phénomènes engendrés par les aléas climatiques. Cet ouvrage par exemple, construit à Artouste (Pyrénées) dans le cadre du projet européen Phusicos, permet de stabiliser des blocs rocheux en amont d’une route stratégique. © BRGM



Préserver la qualité des eaux

Les PFAS (lire en pages 20-21) **sont fabriquées et utilisées pour leurs propriétés intéressantes dans de nombreux secteurs industriels.** Quand ces polluants, que l'on qualifie « d'éternels » en raison de leur persistance, sont rejetés dans l'environnement, par exemple dans les rivières, ils peuvent migrer dans le sous-sol jusqu'aux nappes d'eau souterraines, qui constituent la source majoritaire de l'eau potable en France.

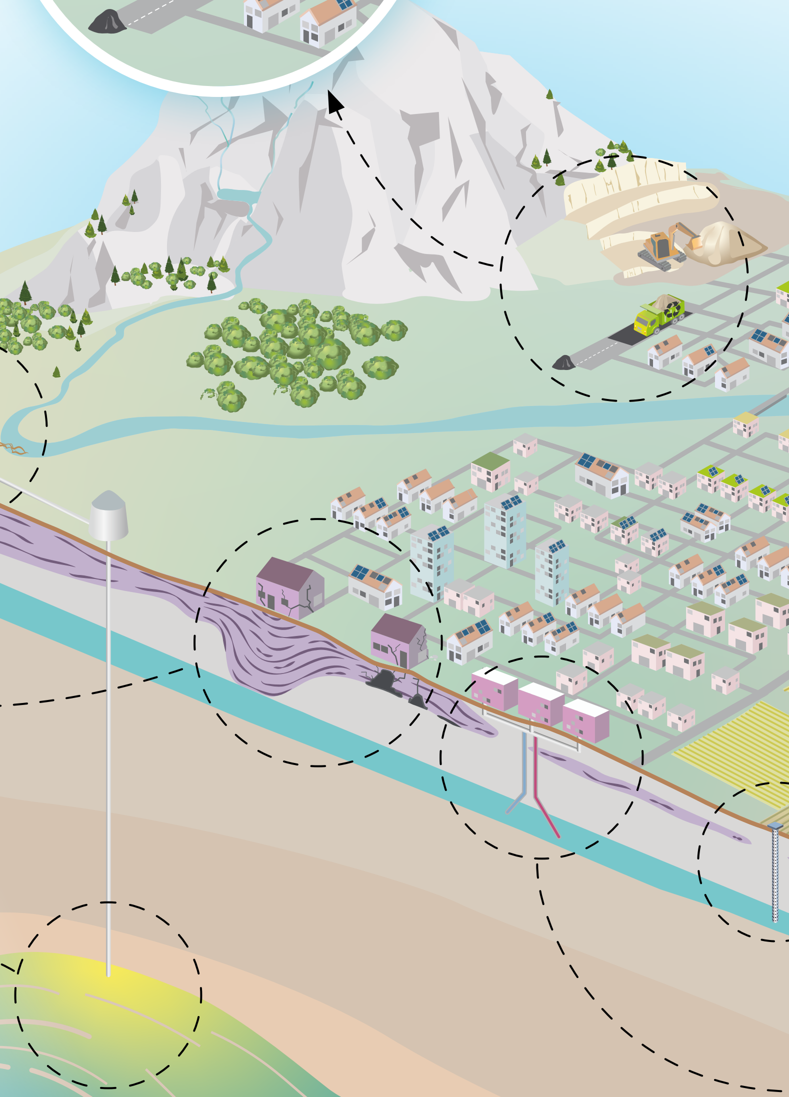
Assurer l'approvisionnement en matières minérales

La sécurisation des approvisionnements en matières minérales (lithium, cuivre, terres rares...) **nécessaires aux transitions énergétique et numérique implique à la fois de mieux connaître les ressources de notre sous-sol** (lire en pages 6-7) **et de développer le recyclage des déchets contenant des substances intéressantes.** La valorisation des terres excavées issues des chantiers de construction pour la réalisation d'ouvrages routiers ou de projets d'aménagement contribue également à une économie plus circulaire.



Prévoir les mouvements de terrain

Le changement climatique affecte les sols en amplifiant non seulement les impacts des phénomènes hydrométéorologiques extrêmes (sécheresses, inondations, cyclones...) mais aussi les contrastes saisonniers. Les territoires deviennent ainsi plus vulnérables face aux aléas de mouvements de terrain comme l'affaissement, voire l'effondrement de cavités et le retrait/gonflement des sols argileux.



Stocker du carbone

En plus de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'atteinte de la neutralité carbone nécessitera la capture et le stockage géologique de CO_2. Cette solution – pour laquelle la France métropolitaine présente un important potentiel – peut permettre un abattement massif des émissions industrielles non réductibles.

Les géosciences au service des territoires

Face aux changements globaux, l'aménagement des territoires doit devenir « durable » afin d'atténuer leurs émissions de gaz à effet de serre, de préserver les ressources naturelles et de favoriser leur résilience par l'adaptation aux effets du réchauffement climatique. Cet objectif implique de bien connaître le sous-sol, de mieux comprendre les risques auxquels il est associé et d'intégrer de façon optimale ses potentielles contributions à la transition écologique.

Gérer la ressource en eau

La disponibilité et la qualité des eaux souterraines sont fortement impactées par le changement climatique (sécheresses, fortes précipitations…)**, la demande croissante pour les différents usages de l'eau** (irrigation, alimentation…) **et les activités humaines à l'origine de pollutions.** Le suivi du niveau des nappes, une meilleure compréhension du fonctionnement des aquifères ainsi que le développement d'outils d'aide à la décision et de pilotage, assortis d'une gouvernance ad hoc, favorisent une gestion prévisionnelle et intégrée de cette ressource.

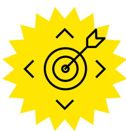
Gérer les risques côtiers

Les zones littorales, en métropole et outre-mer, sont particulièrement vulnérables au changement climatique, qui accentue les aléas de submersion marine et d'érosion côtière, entraînant un recul du trait de côte (limite terre-mer). La compréhension de ces phénomènes et de leurs impacts est essentielle dans une optique de prévention des risques, de gestion de crise et d'adaptation du territoire grâce à des solutions pertinentes et efficaces.

Produire de l'énergie

Le sous-sol, par son potentiel de production et de stockage d'énergie, compte parmi les contributeurs à un mix énergétique décarboné. Les géothermies de surface (jusqu'à 200 mètres) et profonde sont des leviers majeurs de la transition énergétique en France. Le stockage souterrain de chaleur ou de vecteurs énergétiques (hydrogène notamment) est également appelé à se développer.

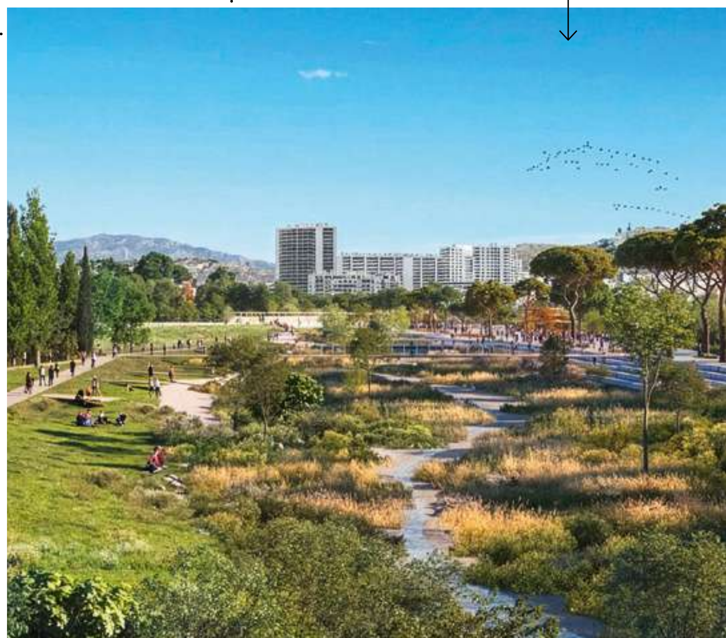
© Hélène Fournié graphisme-medical.fr



AMÉNAGEMENT URBAIN

Des sols fertiles à partir des déblais de chantier

Le futur parc du Ruisseau des Aygalades, à Marseille, prendra place sur l'ancienne gare de fret du Canet. © Groupement Michel Desvigne Paysagiste



80 000 m³ de terre végétale seront nécessaires pour créer à Marseille, sur une friche ferroviaire de 16 hectares, le parc du Ruisseau des Aygalades. Aussi l'établissement public d'aménagement Euroméditerranée, maître d'ouvrage, mise-t-il sur l'utilisation des déblais du chantier pour en composer le sol. **Ce site constitue un parfait terrain d'expérimentation pour FrichEco, projet autour de la valorisation des matériaux urbains, soutenu par l'Ademe.** Le BRGM y apporte son expertise notamment pour caractériser les terres et rendre les sols « fonctionnels », sans nocivité pour la santé ni l'environnement : accueil de biodiversité, rétention d'eau, stockage de CO_2… L'établissement sait en effet évaluer, à partir d'une série de paramètres, et surtout corriger, par une approche minéralogique, le potentiel de fertilité du futur sol. Les formulations seront testées sur des parcelles en contexte méditerranéen, avant la création effective du parc urbain à l'horizon 2031.

CONTAMINATION AUX PFAS

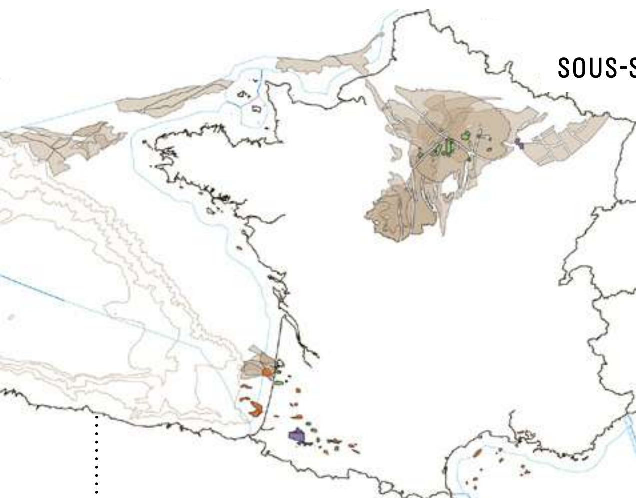
Une technique prometteuse pour dépolluer les sols

Coordonné par le BRGM, le projet européen Promisces, qui vient de s'achever, a vu la mise au point d'une méthode de dépollution des sols contaminés par les PFAS. Celle-ci fait intervenir un fluide complexe qui, par ses propriétés physiques, pénètre uniformément dans les sols, par nature hétérogènes, et qui, par ses propriétés chimiques, libère les PFAS et les entraîne vers des points d'extraction. Cette technique a été expérimentée avec succès sur un pilote plurimétrique installé dans Prime, l'une des plateformes d'essais du BRGM.

PLUS D'INFOS SUR PROMISCES.EU



La technique d'extraction des PFAS développée par le BRGM pourrait être exploitée prochainement à l'échelle industrielle. © BRGM



Selon l'étude EVASTOCO₂, 4 700 millions de tonnes de CO_2 pourraient être stockées dans le sous-sol métropolitain. © BRGM

- Aquifères salins
- Pièges structuraux identifiés dans les aquifères salins
- Réservoirs de pétrole déplétés
- Réservoirs de gaz déplétés

STOCKAGE GÉOLOGIQUE DE CO_2

Une première estimation dans l'Hexagone

Important levier de décarbonation, le stockage de CO_2 dans le sous-sol a fait l'objet d'une étude commanditée par le ministère de la Transition écologique et coordonnée par le BRGM. Objectif : établir une première estimation réaliste des capacités en France métropolitaine. L'inventaire ciblait cinq zones de l'Hexagone – les Bassins parisien, lorrain, aquitain, le bassin du Sud-Est et le golfe du Lion, ainsi que la façade Atlantique (Manche, golfe de Gascogne) – et portait sur deux types de réservoirs potentiels : les anciens gisements d'hydrocarbures (les réservoirs « déplétés ») et les aquifères salins profonds, dont l'eau est impropre à la consommation. **L'étude EVASTOCO₂ révèle ainsi un important potentiel de stockage géologique, réparti sur l'ensemble du territoire métropolitain : 700 millions de tonnes de CO_2 pour les réservoirs déplétés et 4 000 millions de tonnes pour les aquifères salins profonds (2 300 Mt à terre et 1 700 Mt en mer).**

MÉTÉEAU NAPPES

Un outil unique pour la gestion de l'eau souterraine

Développé par le BRGM, MétéEAU Nappes propose un ensemble de services en ligne pour suivre et anticiper le comportement des aquifères en France. Le site a évolué en 2025 pour faciliter l'accès à l'information, désormais possible sans compte, simplifier la navigation et améliorer la consultation en mobilité. En plus des options avancées accessibles après identification (services de l'État, agences de l'eau, collectivités, syndicats d'eau potable), MétéEAU Nappes est doté de nouvelles capacités de prévision, fruit des travaux de recherche conduits par le BRGM.

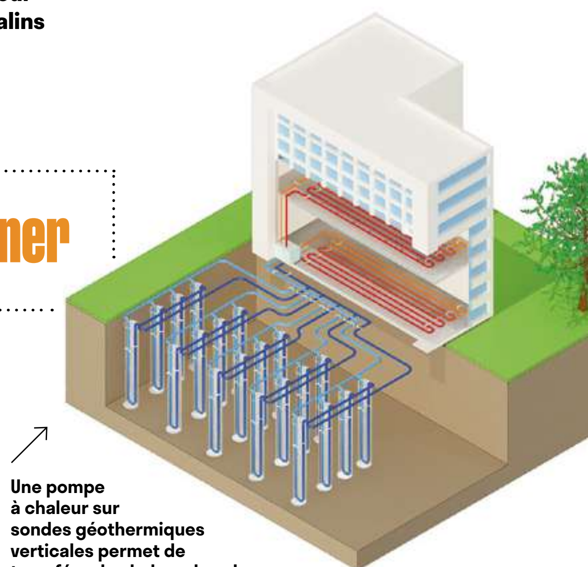
METEEAUNAPPES.BRGM.FR

GÉOTHERMIE DE SURFACE

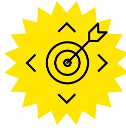
Des cartes pour dimensionner les sondes verticales

Dans le cadre du plan national pour le déploiement de la géothermie, **le BRGM a établi, sur le territoire métropolitain, une cartographie de la favorabilité du sous-sol pour la mise en œuvre de sondes verticales**. Objectif : aider les conseillers France Rénov' et les collectivités à évaluer, en première approche, la pertinence de la solution. Les cartes produites indiquent, pour quatre profondeurs (de 50 m à 200 m), la conductivité thermique du sous-sol, sa température initiale et l'énergie extractible rapportée à la longueur de la sonde (pour le chauffage seul).

GEOTHERMIES.FR/VIEWER/



Une pompe à chaleur sur sondes géothermiques verticales permet de transférer la chaleur du sol vers le bâtiment à chauffer ou d'injecter vers le sol la chaleur du bâtiment à refroidir. © Ademe-BRGM



Mine d'or dans le Nevada (États-Unis). Le BRGM coordonne le projet RAWCLIC, qui vise notamment à évaluer l'empreinte environnementale des métaux nécessaires aux transitions énergétique et numérique dans l'Union européenne. © BRGM - Johann Tuduri



PRÉVENTION

Le BRGM à la pointe de l'ACV

L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthode normée, largement répandue aujourd'hui pour évaluer l'impact environnemental d'un produit ou d'un système. **Le BRGM est reconnu pour ses ACV appliquées aux ressources minérales.** L'établissement a en effet accès, notamment sur la mine, à des données complètes et de qualité qui permettent d'intégrer, dans le calcul des impacts environnementaux, les empreintes carbone, sol et eau. Il peut également coupler l'ACV avec des outils de simulation développés par ses équipes, pour une approche à l'échelle d'un site ou d'un procédé. Cette expertise poussée vaut au BRGM de participer à des réflexions internationales sur les limites actuelles de l'ACV et de contribuer à de nombreux projets de recherche, afin d'en améliorer la méthode.

CAPTAGE DU CO_2

Une technologie innovante portée par CaliCO₂

Issu de la recherche scientifique du BRGM, un procédé innovant de captage et de libération du CO_2 a franchi les étapes clés de la valorisation : investigations, propriété intellectuelle, transfert, entrepreneuriat. Avec le soutien de l'établissement, de sa filiale BRGM Invest et de 4-Elements, **la start-up CaliCO₂ s'emploie ainsi à accélérer la mise sur le marché de cette technologie de rupture, à la fois économique et performante :** elle permettra de réduire le coût et la consommation énergétique du captage de CO_2, tout en en optimisant les résultats.

CALICO2.COM

PRÉVENTION

Une plateforme pour anticiper les risques côtiers

Proposée depuis début 2025 en accès libre, la plateforme CoCliCo (Coastal Climate Core Services) **aide les décideurs et les chercheurs en matière de gestion des risques côtiers et d'adaptation des zones littorales au changement climatique.** Développée dans le cadre du projet européen éponyme coordonné par le BRGM, elle permet d'accéder à des ensembles de données et d'explorer des scénarios à différentes échelles : projections de l'élévation du niveau de la mer ; visualisation des risques d'inondation et d'érosion ; identification des personnes, des bâtiments et des infrastructures exposés ; comparaison des stratégies d'adaptation en fonction de leur coût et de leur impact.

COCLICOSERVICES.EU

Bourcefranc-le-Chapus, en Charente-Maritime. Dans les zones côtières européennes, 600 000 à 1,75 million de personnes seront confrontées d'ici à 2050 à l'élévation du niveau de la mer.
© Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine - Agence Odds





Des analyses géochimiques ont été effectuées sur les sources karstiques du massif du Jura, comme ici la source de la Loue dans le Doubs, afin d'identifier l'origine et le temps de résidence des nutriments dans les eaux souterraines. © BRGM

GESTION DURABLE DES EAUX

Restaurer les rivières comtoises

La mortalité piscicole observée épisodiquement dans les rivières comtoises du massif du Jura ces dernières années a mis au jour la dégradation chronique de la qualité de ces eaux. En cause, une pollution d'origines diverses depuis plusieurs décennies. **Le BRGM, à travers le projet NUTRI-Karst, a étudié en particulier les impacts des activités agricoles sur les transferts de nutriments** (azote et phosphore principalement) vers les eaux souterraines et de surface, dans un contexte aggravant de réchauffement climatique. Ces travaux ont amélioré la connaissance des milieux karstiques, caractéristiques de la région. L'établissement, en lien avec la chambre interdépartementale d'agriculture Doubs-Territoire de Belfort, a également mis en évidence les pratiques agricoles à privilégier et celles à risque, et partagé ces recommandations avec les acteurs concernés afin de définir collectivement les actions susceptibles d'être mises en œuvre.

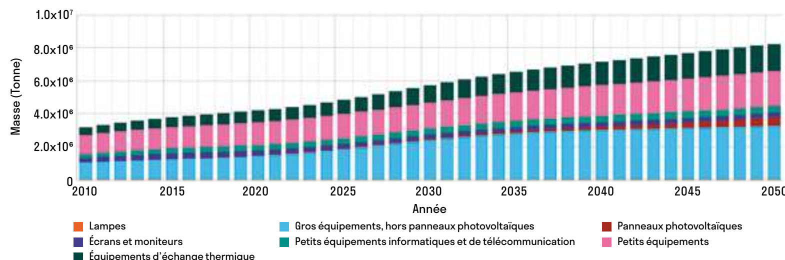
PLUS D'INFOS SUR BRGM.FR

MÉTAUX CRITIQUES DANS LA MINE URBAINE

Une source potentielle d'approvisionnement désormais quantifiée

Partenaire du projet européen FutuRaM, le BRGM mettra en ligne, en novembre 2025, un portail de la mine urbaine. « Urban Mine Platform » met en évidence le stock de métaux critiques en circulation dans l'Union européenne, car intégrés dans divers produits en service… qui deviendront un jour des déchets. Ces données permettent ainsi d'évaluer les quantités de ressources minérales susceptibles d'être récupérées, et à quelle échéance, grâce au recyclage de ces déchets (batteries, véhicules, équipements électriques et électroniques, bâtiments…). Des quantités à mettre en regard des besoins en métaux critiques pour les transitions énergétique et numérique mais aussi de la capacité de recyclage de l'Union européenne.

URBANMINEPLATFORM.EU



Évolution des déchets d'équipements électriques et électroniques en France. © FutuRaM

RISQUES SUR LE BÂTI

Un observatoire pour prévoir le retrait-gonflement des sols argileux

Le retrait-gonflement des sols argileux (RGA) est ce phénomène qui, entre temps sec et temps pluvieux, fait « bouger » le sol et impacte le bâti (fissures, tassement…). Parmi les projets de recherche du BRGM sur cette problématique, SEHSAR, mené avec le Cerema, consiste à mettre en place un observatoire national du retrait-gonflement des sols argileux afin de collecter, traiter et valoriser des données issues de zones variées. La sélection des sites – en cours – intègrera ceux de Chaingy (Loiret) et Toulouse. Sur le premier, le BGRM étudie déjà les transferts d'humidité entre le sol et l'atmosphère. Le second a servi au projet ViSéGéo pour une gestion intégrée du risque de sécheresse incluant un système prédictif du RGA. **L'observatoire SEHSAR doit aider, grâce à de nouveaux indicateurs et des modèles affinés, à mieux comprendre et anticiper ce phénomène dans un contexte de changement climatique.**

L'interview



Après le passage du cyclone Garance sur l'île de la Réunion, les équipes du BRGM ont réalisé plus de 130 diagnostics de risques géologiques sur des habitations, comme ici dans la ravine du Butor. © BRGM

« À Mayotte et à la Réunion, nous aidons les autorités locales à prévenir les effets d'un cyclone sur l'île »

Ingrid Girardeau et **Manuel Parizot**, respectivement directrice régionale et directeur régional par intérim du BRGM à la Réunion et à Mayotte, pilotent des missions d'appui aux politiques publiques et des projets de recherche autour notamment de l'eau, des risques naturels, de la géothermie et des ressources minérales. Leurs équipes ont apporté un soutien précieux aux autorités locales lors du passage des cyclones Chido et Garance l'hiver dernier.



COMMENT LE BRGM EST-IL IMPLIQUÉ DANS LA PRÉVENTION DES RISQUES LIÉS AUX CYCLONES ?

Ingrid Girardeau — À la Réunion, comme à Mayotte, le BRGM produit les cartographies d'aléa des risques naturels, notamment les mouvements de terrain et la submersion marine. Ces documents aident les pouvoirs publics à réglementer l'urbanisation dans les secteurs les plus exposés, à travers les plans de prévention des risques naturels.

Manuel Parizot — En effet, les cyclones, selon leur intensité, provoquent glissements de terrain, inondations, recul de berges ou encore submersion marine. Il est donc important de limiter l'exposition des biens et des personnes à ces aléas.

QUEL A ÉTÉ VOTRE RÔLE PENDANT LES CRISES CYCLONIQUES DE FIN 2024 ET DÉBUT 2025 ?

I. G. — Durant chaque saison cyclonique, soit de novembre à mai, nous sommes d'astreinte pour réaliser en urgence des diagnostics des risques géologiques, notamment sur les routes. Nous sommes également intégrés aux procédures de gestion de crise cyclonique de la préfecture, pour notre expertise sur les mouvements de terrain et les situations de péril qu'ils peuvent engendrer pour les habitations, aux côtés de la DEAL Réunion. C'est sur la base de nos comptes-rendus que les autorités prennent des arrêtés d'évacuation et d'interdiction d'accès. Après Garance, nous avons dû faire venir des collègues de métropole pour nous aider à effectuer tous ces diagnostics, tandis que d'autres se sont mobilisés pour valider nos livrables, qui engagent la responsabilité du BRGM et peuvent avoir des conséquences majeures pour la population.

M. P. — Mayotte, qui n'avait pas connu de cyclone aussi dévastateur depuis un siècle, n'a pas la même culture du risque vis-à-vis de ce type d'événements. Face aux conséquences immédiates, la priorité était d'abord de rétablir les services de base, d'autant qu'une autre tempête, Dikélédi, a frappé l'île le 10 janvier suivant… Nous sommes ainsi intervenus pour des expertises de terrain plus de deux mois après le passage de Chido ! Il faut souligner aussi que nos comptes-rendus contiennent des recommandations à plus long terme pour atténuer les risques liés aux cyclones, principalement en termes d'études à mener.

INTERVENEZ-VOUS ENCORE, UNE FOIS LA CRISE PASSÉE ?

I. G. — Oui, à la demande des autorités locales. Nous participons notamment à des réunions publiques qui visent à expliquer aux habitants les risques encourus et la nécessité d'évacuer les habitations, comme celles construites illégalement en fond de ravine. Nous sommes également sollicités pour la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sur les communes concernées. Nous pouvons aussi accompagner les visites officielles de représentants de l'État venus constater les dégâts sur place.

M. P. — De notre côté, nous avons été consultés pour l'élaboration de la loi pour la reconstruction de l'île. Et nous nous tenons à la disposition des autorités pour mettre en œuvre ce programme ambitieux, qui vise à faire de Mayotte une île durable et résiliente. ●

DES TEMPÊTES AUX IMPACTS COLOSSAUX

14 décembre 2024
Chido dévaste Mayotte, avec des rafales de vent qui dépassent 220 km/h.

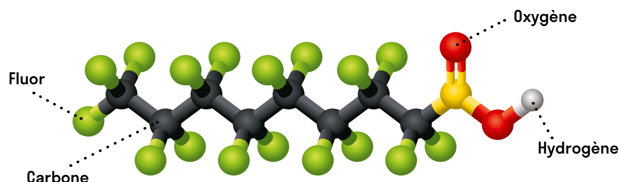
27 et 28 février 2025
Garance s'abat sur la Réunion, provoquant d'intenses précipitations et de forts ruissellements d'eau de pluie. En plus des victimes humaines, les pertes économiques sont évaluées, sur chaque île, à plusieurs centaines de millions d'euros.

Les PFAS, des polluants « éternels »

Fabriquées et utilisées depuis des décennies, les substances per- et polyfluoroalkylées, ou PFAS, suscitent aujourd'hui des inquiétudes en raison de leur persistance dans l'environnement et des risques qu'elles peuvent engendrer pour la santé humaine et la biodiversité. Tandis que la réglementation se durcit afin de renforcer leur surveillance et de limiter leur usage, la recherche avance pour mieux comprendre et prédire le comportement des PFAS dans l'environnement. Des travaux scientifiques portent également sur la dépollution des milieux contaminés et la dégradation de ces molécules.

POURQUOI LES PFAS SONT-ILS AUTANT UTILISÉS ?

Les PFAS, substances per- et polyfluoroalkylées, sont des composés synthétiques, fabriqués depuis les années 1950. Leurs molécules sont formées d'une chaîne carbonée de longueur variable, avec au moins un groupe méthyle perfluoré ($-CF_3$) ou un groupe méthylène perfluoré ($-CF_2$). On recense plusieurs milliers de PFAS.



Désormais interdit, le PFOA (acide perfluorooctanoïque) était utilisé dans des mousses anti-incendie et les revêtements antiadhésifs des ustensiles de cuisine.

En raison de leurs propriétés variées – antiadhésif, imperméabilisant, résistant aux fortes chaleurs, surfactant/tensio-actif –, ces composés se retrouvent dans de nombreux produits : emballages alimentaires anti-gras, revêtements antiadhésifs des ustensiles de cuisine (dont le Téflon), textiles déperlants et imperméables, certains cosmétiques, produits phytosanitaires, substances pharmaceutiques et mousses anti-incendie…

COMMENT LES PFAS SE RETROUVENT-ILS DANS L'ENVIRONNEMENT ?

Les PFAS peuvent être disséminés dans l'environnement pendant leur production ainsi que pendant la fabrication et l'utilisation des produits qui en contiennent, les PFAS se retrouvant alors dans les eaux usées et les déchets. Ces eaux et ces déchets pollués peuvent constituer à leur tour une source de contamination : *via* le rejet dans l'environnement des eaux traitées et l'utilisation des boues d'épuration en amendement agricole, alors que les stations d'épuration ne parviennent pas à éliminer les PFAS de façon satisfaisante ; *via* l'infiltration dans le sol et le ruissellement des effluents des sites de stockage de déchets mais aussi l'incinération de ces derniers, dont la combustion incomplète peut disperser des PFAS dans l'air. La dissémination peut aussi être causée par l'utilisation de mousses anti-incendie fluorées.

POURQUOI LES QUALIFIE-T-ON DE POLLUANTS « ÉTERNELS » ?

Les PFAS, dont l'impact sur la santé et la biodiversité fait l'objet de nombreuses études, sont des polluants dits « éternels » pour leurs liaisons carbone-fluor très stables et très résistantes. Certaines molécules non seulement ne se dégradent pas après utilisation ou rejet dans l'environnement mais peuvent même persister durant des décennies, voire des siècles !



Un pilote de 80 m³ a permis de décrire la migration dans le sol et dans une nappe des PFAS contenus dans des mousses anti-incendie puis de tester des techniques de remédiation.
© BRGM - Cyril Boucley

DES PFAS DANS L'EAU ? RÉPONSE SUR INFO PFAS !

Le BRGM a développé, dans le cadre du plan d'action interministériel sur les PFAS, un outil de visualisation des données de surveillance de ces substances dans l'eau sur le territoire national. Cette carte accessible à tous permet de localiser les points de prélèvement et de découvrir les résultats des analyses associées.

ACCÉDEZ À LA CARTE

LES PFAS SONT-ILS RÉGLEMENTÉS ?

En évolution aux niveaux européen et national, la réglementation sur les PFAS associe la surveillance de ces molécules et leur réduction à la source par des restrictions sur leur production et leur utilisation. En France, un plan d'action interministériel sur les PFAS a été lancé en 2024.

SAIT-ON ÉLIMINER LES PFAS ?

La dépollution des milieux (eaux, sols, etc.) consiste à diminuer suffisamment les concentrations en PFAS pour retrouver un état le plus proche possible d'avant-pollution, tandis que la dégradation des PFAS utilise des techniques physiques, thermiques, chimiques ou biologiques pour transformer ces substances en molécules moins, voire non dangereuses. Si différentes solutions de dépollution de l'environnement existent, les procédés de destruction des PFAS, souvent complexes et énergivores, sont encore en maturation dans les laboratoires. ●

Que fait le BRGM sur les PFAS ?

Travaillant depuis une quinzaine d'années sur les PFAS, le BRGM mobilise ses connaissances et ses compétences pour :

- Identifier de nouveaux PFAS, mieux caractériser les pollutions et en identifier les sources grâce au développement de méthodes d'analyse et la réalisation d'études de surveillance ;
- Mieux comprendre le comportement et le devenir de ces molécules dans les sols et les eaux souterraines ;
- Mettre au point des solutions de remédiation, à travers le développement de techniques de dépollution des milieux contaminés et de destruction des PFAS ;
- Aider les services de l'État et les collectivités dans leurs prises de décision ;
- Appuyer la rédaction des textes réglementaires nationaux et internationaux qui régissent les PFAS.

PLUS D'INFOS SUR LES PFAS DANS NOTRE FAQ SUR BRGM.FR

1000 km²

explorés sur le bassin de l'Arc

Géoscan

1

Promouvoir la géothermie de demain

L'exploitation de la chaleur terrestre via la géothermie profonde requiert une connaissance fine de l'architecture du sous-sol. C'est tout l'objet des campagnes d'exploration géophysique Géoscan, menées dans les territoires. Les résultats devraient ouvrir localement de nouvelles perspectives pour cette énergie renouvelable et décarbonée.



(1) La campagne de sismique réflexion sur le bassin de l'Arc a été conduite sur les routes mais aussi sur l'étang de Berre. © S3 - Robert Famy **(2) En Île-de-France, des camions vibreurs ont parcouru 280 km de routes à l'ouest et au sud de Paris.** © S3 - Robert Famy

Apporter, par une meilleure connaissance du sous-sol, un soutien concret aux porteurs de projets de géothermie profonde pour l'identification des sites les plus favorables : c'est l'objectif du programme Géoscan porté par l'Agence de la transition écologique (Ademe), la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) et le BRGM, avec les collectivités locales concernées (Régions Île-de-France et Sud - Provence-Alpes-Côte d'Azur, département des Bouches-du-Rhône, métropole Aix Marseille Provence). Deux campagnes d'exploration du sous-sol ont ainsi été menées en 2024, l'une en Île-de-France, l'autre dans le bassin de l'Arc, entre Aix-en-Provence et Fos-sur-Mer. Elles visaient à mieux cartographier l'espace souterrain grâce à la méthode de sismique réflexion (lire encadré), qui permet d'obtenir des « profils sismiques » révélant l'architecture des strates, l'existence de failles ou encore la présence d'aquifère. Des données essentielles pour identifier et caractériser de potentiels réservoirs géothermiques.

Jusqu'à 10 000 mètres de profondeur

Ces campagnes ont mobilisé, en milieu urbain, des camions vibreurs. *« L'acquisition des profils sismiques a eu lieu la nuit principalement, à la fois pour limiter la gêne sur la voie publique et réduire le bruit sur les données lié à la circulation »*, explique Alexandre Stopin, géophysicien au BRGM. Sur le bassin de l'Arc, la campagne comprenait



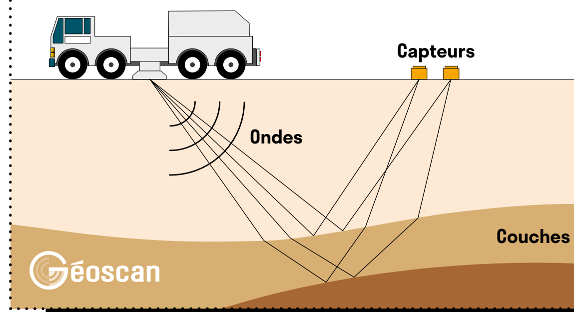
1 900 km²

explorés en Île-de-France

2

? LA SISMIQUE RÉFLEXION ?

Cette méthode d'investigation s'apparente à une échographie : des ondes mécaniques sont envoyées dans le sous-sol et se réfléchissent sur les différentes couches géologiques. Les signaux renvoyés à la surface sont enregistrés par des géophones et permettent de bâtir une image du sous-sol en deux dimensions : c'est le « profil sismique ».



également une opération de collecte de données par barge sur l'étang de Berre. *« Nous avons ainsi pu imager le sous-sol jusqu'à des profondeurs de 3 000 mètres en Île-de-France et 10 000 mètres dans le bassin de l'Arc »*, précise le chercheur.

La teneur des deux projets diffère toutefois sensiblement. *« En Île-de-France, le panel de données déjà disponibles est important. Le but ici était donc de retraiter d'anciens profils sismiques, d'acquérir de nouvelles données dans l'ouest et le sud du territoire et de corréler ces résultats aux nombreux puits dont nous disposons, dans le but de mieux évaluer la qualité des réservoirs géothermiques. » « Les explorations précédentes, datant des années 1980 à 1990, ciblaient les hydrocarbures*, ajoute Camille Maurel, hydrogéologue au BRGM. *Dans Géoscan, nous étudions les mêmes environnements géologiques mais avec des cibles géothermales qui se situent à des profondeurs légèrement différentes. L'objectif premier est de caractériser la porosité, la perméabilité et la profondeur des aquifères, afin d'évaluer leur température. Ces propriétés sont essentielles pour la géothermie. »*

Une ressource pour quantité de projets

À l'inverse, les connaissances sont plus fragmentaires sur le bassin de l'Arc. Il s'agissait donc d'effectuer un premier maillage géophysique de ce territoire complexe du point de vue structural. Des campagnes géologiques de terrain ont permis de compléter cette approche par des observations directes.

« Le traitement des données collectées étant terminé, nous sommes en train de les exploiter et de les interpréter », indique Alexandre Stopin. Si les résultats sont destinés en premier lieu aux acteurs de la géothermie profonde, ils présentent un intérêt plus large et seront mis à la disposition des collectivités locales et de la communauté scientifique. Comme le soulignent les deux experts, *« les connaissances produites dans le cadre des campagnes Géoscan constituent une ressource précieuse pour quantité de projets liés au sous-sol »*. ●

DÉCOUVREZ LA CAMPAGNE GÉOSCAN EN ÎLE-DE-FRANCE EN VIDÉO SUR BRGMTV



Quid ?



Le BRGM intervient, à la demande des collectivités locales et des services de l'État, quand des cavités souterraines menacent des vies humaines ou des infrastructures. Sur cette photo prise à Orléans en 2023, il numérise une ancienne carrière en 3D à l'aide d'un drone conçu spécialement pour le milieu souterrain. © BRGM - Silvain Yart

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

brgm
Géosciences pour une Terre durable

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

SIÈGE - CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 • 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél.: (33) 2 38 64 34 34



RETROUVEZ TOUTE NOTRE ACTUALITÉ SUR
brgm.fr